

# Orthofile®: a new approach for mechanical interproximal reduction

## A scanning electron microscopic enamel evaluation

# Orthofile®: ein neuer Ansatz für die mechanische interproximale Reduktion

## Eine rasterelektronenmikroskopische Schmelzanalyse

Luca Lombardo<sup>1</sup>, Maria Paola Guarneri<sup>1</sup>, Pasquale D'Amico<sup>1</sup>, Camilla Molinari<sup>1</sup>, Viviana Meddis<sup>1</sup>, Antonella Carlucci<sup>1</sup>, Giuseppe Siciliani<sup>1</sup>

### Abstract

**Purpose.** The aim of this in vitro study was to evaluate the stripping achieved on different teeth (incisors, canines, and premolars) by two grades of abrasive strips used for the first and tenth time. Our second aim was to test the efficacy of these strips by calculating the time necessary to perform interproximal reductions of 0.10, 0.20, and 0.30 mm.

**Methods.** Four models were constructed using extracted teeth affixed in wax. The upper and lower arches were set on plaster bases and fixed in wax, carefully creating contact points. All model mouths were treated with artificial saliva (Oral Balance®) in order to simulate the biological conditions in the oral cavity. We then tested specific air-rotor strips of different grades and degrees of wear (15-µm-grain and 25-µm-grain Orthofile® strips). Afterwards the teeth from all samples were cut lengthwise in half, and each mesial and distal portion was gold-plated and observed under SEM at incremental magnification (30, 60, and 100 µm).

**Results.** The 25-µm-grain strip was more effective than the 15-µm-grain strip, irrespective of the tooth involved. Second, the finishing phase with specific polishing strips after interproximal reduction was fundamental in reducing the number of abrasions and irregularities created by stripping, in particular after using the 25-µm-grain strip. To achieve the best result, the entire abraded area must be polished.

**Conclusion.** This system permits a rapid and effective stripping procedure in direct proportion to the strip's grain and in inverse proportion to the wear from its use. Further research will enable us to compare this system with similar procedures.

### Zusammenfassung

**Studienziel.** Gegenstand dieser In-vitro-Studie war die Schleif-feilentechnik zur approximalen Schmelzreduktion im Interdentalbereich unterschiedlicher Zähne (Schneidezähne, Eckzähne und Prämolaren). Zum Einsatz kamen turbinengetriebene Feilen mit 2 verschiedenen Körnungen, beurteilt wurden jeweils die erste und zehnte Anwendung. Zur Beurteilung der Effizienz dieser Feilen wurde der Zeitaufwand für 3 verschiedene Tiefen des Substanzabtrags (0,10, 0,20, 0,30 mm) ausgewertet.

**Methode.** Die Studie erfolgte an 4 Modellmündern mit extrahierten Zähnen. Dazu wurden die oberen und unteren Zahnreihen auf Gipsbasen platziert und mit sorgfältig hergestellten Kontaktpunkten in Wachs fixiert. Zur Simulation biologischer Verhältnisse erfolgte eine Behandlung der Modellmünder mit Kunstspeichel (Oral Balance®). Es folgte eine gezielte Prüfung unterschiedlich gekörnter und abgenutzter turbinengetriebener Schleiffeilen. Anschließend wurden die Zähne in Längsrichtung halbiert, mesial und distal goldplattiert und bei zunehmender Vergrößerung (30, 60, 100 µm) unter dem Rasterelektronenmikroskop begutachtet.

**Resultate.** Die Feilen mit 25-µm-Körnung waren unabhängig vom behandelten Zahntyp wirksamer als die 15-µm-Feilen. Zweitens zeigte sich, dass eine Finierphase mit eigenen Polierfeilen nach erfolgter Schmelzreduktion (insbesondere mit den 25-µm-Schleiffeilen) wesentlich für die Reduzierung abgeriebener und unebener Stellen infolge des Substanzabtrags war. Optimale Ergebnisse lassen sich nur über eine abschließende Politur des gesamten beschliffenen Areals erzielen.

**Schlussfolgerung.** Die untersuchten Schleiffeilen ermöglichen rasche und wirksame Substanzabträge direkt proportional zu ihrer Körnung und umgekehrt proportional zum Grad ihrer Abnutzung. Weitere Studien werden es ermöglichen, das hier verwendete System mit ähnlichen Verfahren zu vergleichen.

<sup>1</sup> Department of Orthodontics, University of Ferrara, Ferrara, Italy

**Keywords**

Reduction · Polishing · Grain · Abrasive · Strips

**Schlüsselwörter**

Reduktion · Polieren · Körnung · Schleifmittel · Feilen

**Introduction**

Interproximal reduction (IPR) is a procedure commonly used to reduce the width of incorrectly proportioned (macrodontia) or misshapened (triangular) teeth. Interproximal enamel reduction also offers an attractive alternative to overcoming difficulty when extracting premolars and to resolve the instability of overexpansion in non-extraction cases [26], thereby, improving the stability of the arches [1].

Nowadays, extraction and expansion are particularly difficult to incorporate in treatment planning for the increasing number of adult patients [8] who choose clear plastic appliances such as Invisalign®. IPR, in fact, is frequently utilized as an alternative to alleviate mild-to-moderate crowding in conjunction with such appliances [4, 14].

Unlike previous methods of interproximal reduction [21, 22], IPR generates space primarily, although not exclusively, in the buccal segments. The amount of IPR, in fact, can be directly correlated to the amount of crowding to be resolved [6]. In this regard, however, we must remember that the enamel has a certain thickness and that it helps protect the underlying layers thanks to its highly mineralized surface.

There are several articles that clarify the amount of enamel that can be safely removed. Fillion [9] stated that the amount of enamel to be removed should not exceed 0.3 mm on the upper incisors, 0.6 mm on the upper and lower premolars and molars, and 0.2 mm on the lower incisors. However, Sheridan [5, 19] maintains that 6.4 mm of interproximal space can be obtained from molar to molar. In contrast, Stroud et al. [22], using the same procedure as Sheridan, suggest a potential space gain of 9.4 mm. In general, however, these authors agree that a 50% reduction in thickness of the enamel layer is acceptable. At any rate, there is no correlation between tooth width and quality of enamel, nor with the amount of enamel a given tooth may present [7, 11].

Various IPR methods have been tested and gradually improved over the years [17, 26]. The 3 most common techniques at present are the following: (A) the air-rotor stripping (ARS) technique with fine tungsten-carbide or diamond burs and diamond-coated strips (primarily in the posterior segments), (B) hand-piece or micromotor-mounted diamond-coated stripping disks, and (C) hand-held or motor-driven abrasive strips [3, 10]. The last system seems to be quick and convenient to use on all teeth [5].

Regardless of which method is used, it is believed to weaken the enamel [2, 16, 24, 26]. It is generally assumed that the finer the grain size used for removing enamel, the easier and quicker the subsequent polishing. If the polishing is insufficient, scratches and furrows remain on the enamel surface. These promote plaque bacteria to adhere, and they potentially heighten suscep-

**Einleitung**

Approximale Substanzabträge in Zahnzwischenräumen sind ein gängiges Verfahren zur Verschmälerung von Zähnen mit Proportions- oder Formdefiziten (Makrodonzie bzw. dreieckige Zähne). Interdentale Schmelzreduktionen sind auch eine attraktive Alternative zur Extraktion von Prämolaren sowie in Nichtextraktionsfällen zur Vermeidung von Überexpansion [26] und führen somit zur besseren Stabilität der Zahnbögen [1].

Angesichts von immer mehr erwachsenen Patienten [8], die sich für transparente Kunststoffgeräte, etwa für Invisalign®, entscheiden, lassen sich Extraktionen und Expansionen heutzutage besonders schwer in die Therapieplanung integrieren. Interdentale Substanzabträge werden oft als Alternative zur Korrektur leichter bis mittelschwerer Zahnengstände im Zusammenhang mit solchen Apparaturen verwendet [4, 14].

Anders als bei früheren Methoden des interdental-approximalen Substanzabtrags [21, 22] erfolgt die Vergrößerung des Platzangebots heute, wenngleich nicht ausschließlich, so doch primär in den bukkalen Segmenten. Der nötige Substanzabtrag lässt sich sogar direkt mit dem Ausmaß des zu behandelnden Zahnengstands korrelieren [6]. Allerdings ist zu bedenken, dass der Schmelz dank seiner hochmineralisierten Oberfläche die tieferen Schichten zu schützen hilft und nur eine gewisse Stärke besitzt.

Zur Frage, wie viel Schmelz ohne Bedenken entfernt werden kann, liegen mehrere Studien vor. Fillion [9] zufolge sollte die Schmelzreduktion an den oberen Schneidezähnen maximal 0,3 mm, an den oberen und unteren Prämolaren und Molaren 0,6 mm sowie an den unteren Schneidezähnen maximal 0,2 mm betragen. Demgegenüber vertritt Sheridan [5, 19] die Auffassung, dass sich von Molar zu Molar ein Interdentalabstand von 6,4 mm realisieren lässt. Stroud et al. [22] wiederum legen auf Basis des gleichen Verfahrens wie Sheridan eine potenzielle Platzoptimierung von 9,4 mm nahe. Grundsätzlich sind sich diese Autoren jedoch einig, dass ein Substanzabtrag um die Hälfte des Schmelzmantels akzeptabel ist. Jedenfalls besteht keine Korrelation zwischen der Breite eines Zahns und seiner Schmelzqualität sowie -quantität [7, 11].

Im Lauf der Jahre sind diverse Methoden des interdentalen Schmelzabtrags getestet und sukzessive verbessert worden [17, 26]. Zurzeit sind 3 Techniken besonders verbreitet: a) luftturbinengetriebenes Beschleifen („air-rotor stripping“) mit feinen Hartmetall- oder Diamantbohrern und diamantbeschichteten Feilen (hauptsächlich in den Seitenzahnbereichen), b) diamantbeschichtete Schleifscheiben auf Handstück oder Mikromotor sowie c) manuelle oder motorgetriebene Schleiffeilen [3, 10]. Die letztgenannte Methode scheint sich rasch und bequem an allen Zähnen anwenden zu lassen [5].



**Figure 1.** Representative model mouth featuring extracted teeth mounted on a base of plaster and wax

**Abbildung 1.** Modellmund, bestehend aus einer Gips-Wachs-Basis mit darauf fixierten extrahierten Zähnen



**Figure 2.** Example of a specific strip for interproximal reduction mounted on an appropriate hand piece

**Abbildung 2.** Beispiel einer Spezialfeile für interdental Schmelzreduktionen auf einem passenden Handstück

tibility to dental caries [16]. Also, unintentionally produced interproximal ridges or steps during stripping can cause future cavities [8, 27].

Fixed orthodontic appliances obviously create an environment that favors caries development [15]. Whether the caries risk is worsened by the stripping associated with orthodontic treatment is debatable [3, 7, 12]. We maintain that the most important means of preventing adverse effects from IPR is to polish the surfaces after interproximal reduction [3, 28, 29]. To our knowledge, there is no literature reporting on the responses to stripping several teeth.

The aim of this study was to evaluate in vitro the quality of stripping achieved on different teeth (incisors, canines, and premolars) by different grades of abrasive strip utilized for the first and tenth time. Another objective was to test the efficacy of these strips by assessing how long it takes to perform interproximal reductions of 0.10, 0.20, and 0.30 mm. The strips we employed were mounted on a 10,000–12,000 RPM hand piece.

## Material and methods

Four models for each of the two operators were constructed using whole extracted teeth fixed in wax models of the upper and lower arches set on plaster bases (Figure 1). The teeth were set in the plaster, taking care to recreate the natural contact points. All model mouths were immersed in artificial saliva (Oral Balance®) to simulate the biological conditions in the oral cavity. Orthofile® strips of different grades and degrees of wear were then tested (Figure 2). The teeth from all samples were then cut lengthwise in half, and each mesial and distal portion was gold-plated and observed under SEM (scanning electron microscope) at incremental magnification (30, 60, and 100  $\mu\text{m}$ , Figure 3). Two different operators evaluated and documented the quality and regularity of the enamel surfaces: the IPR area was compared to before and after IPR. We examined any variations in color, translucency, and surface irregularities.

In particular, the samples were categorized as follows:

- **Sample 1:** Interproximal reduction in the mesial surface of first right premolar (tooth 15) in the upper arch of model mouth 1 was carried out for 15 s using a yellow, 15- $\mu\text{m}$ -grain strip mounted on a micromotor hand piece. The same proce-

Unabhängig von der verwendeten Methode ist jedoch von einer Schwächung des Schmelzes auszugehen [2, 16, 24, 26]. Ferner gilt die grundsätzliche Annahme, dass sich bei Anwendung feinerer Körnungen für den Schmelzabtrag die nachfolgende Politur zunehmend einfacher und rascher gestaltet. Mangelhaftes Polieren hinterlässt Kratzer und Furchen an der Schmelzoberfläche, die eine Angriffsfläche für Plaquebakterien bilden und so die Anfälligkeit für Karies erhöhen [16]. Außerdem können Leisten oder Stufen, die beim approximalen Substanzabtrag ungewollt im Interdentalbereich entstehen, später Kavitäten verursachen [8, 27].

Festsitzende kieferorthopädische Apparaturen schaffen naturgemäß ein Umfeld, das die Entstehung von Karies begünstigt [15]. Über die Frage, ob im Zusammenhang mit kieferorthopädischen Behandlungen durchgeführte Schmelzreduktionen dieses Risiko verstärken, lässt sich jedoch streiten [3, 7, 12]. Unseres Erachtens ist die wichtigste Vorkehrung gegen negative Folgewirkungen eine Oberflächenpolitur nach dem erfolgtem Substanzabtrag [3, 28, 29]. Nach unserer Kenntnis gibt es in der Literatur keine Arbeiten zu Reaktionen auf das oberflächenreduzierende Beschleifen mehrerer Zähne.

Gegenstand der vorliegenden In-vitro-Studie war die Qualität von Schmelzreduktionen an unterschiedlichen Zahntypen (Schneidezähnen, Eckzähnen, Prämolaren), durchgeführt mit Schleiffeilen von unterschiedlicher Körnung, die zum ersten und zum 10. Mal angewendet wurden. Zur Beurteilung ihrer Wirksamkeit sollte ferner der Zeitaufwand für 3 verschiedene Reduktionstiefen (0,10, 0,20 und 0,30 mm) ausgewertet werden. Die von uns verwendeten Feilen waren befestigt an einem Handstück mit einer Drehgeschwindigkeit von 10.000–12.000 U/min

## Material und Methode

Die Studie erfolgte durch 2 Untersucher an je 4 Modellmündern mit extrahierten ganzen Zähnen, fixiert in Wachsmo-  
dellen des Ober- und Unterkiefers auf Gipsbasen unter gewissenhafter Wiederherstellung der natürlichen Kontaktpunkte (Abbildung 1). Alle Modellmünder wurden zur Simulation biologischer Verhältnisse in Kunstspeichel (Oral Balance®) getaucht. Die anschließenden Schmelzreduktionen erfolgten ge-



**Figure 3.** Sections of gold-plated teeth to undergo scanning electron microscope evaluation

**Abbildung 3.** Segmentierte und goldplattierte Zähne vor der Analyse unter dem Rasterelektronenmikroskop

cedure was performed on the distal side of the same tooth using the same strip, but not until it had been used in the same way 9 times on the other teeth, in other words that was its 10th application. The identical procedure was then performed on tooth 14 using a white, 25- $\mu\text{m}$ -grain strip. We then carried out a similar test using 15- $\mu\text{m}$ - and 25- $\mu\text{m}$ -grain strips, respectively, on the canines (teeth 13 and 23) and incisors (teeth 11 and 12) to test each strip's capacity to remove a predetermined thickness of enamel; in this case a suitable spacer was employed to eliminate the influence of interproximal contacts (Figure 4, Figure 5).

- *Sample 2:* The same procedures, including the use of the spacer, were employed on the distal surfaces of the above-mentioned teeth in model mouth number 2. In this case, however, we added a finishing phase using a 15- $\mu\text{m}$ -grain finishing strip in order to determine the quality of polishing following interproximal reduction (Figure 6, Figure 7).
- *Sample 3:* The total time required to achieve 0.10, 0.20, and 0.30 mm of enamel reduction between teeth 11 and 21 using a previously unused 15- $\mu\text{m}$ -grain Orthofile yellow strip was evaluated on the upper arch of model mouth number 3. The thickness of the enamel removed using an appropriate thickness gauge was also measured. The same test was performed on teeth 11 and 12 using a previously-unused 25- $\mu\text{m}$ -grain white strip.
- *Sample 4:* The experimental protocol for group 3 was repeated in the upper jaw of model mouth 4 using a 15- $\mu\text{m}$ -grain yellow strip that had already been used 9 times between teeth 11 and 21, and a 25- $\mu\text{m}$ -grain white strip previously used 9 times between teeth 11 and 12.

### Statistical analysis

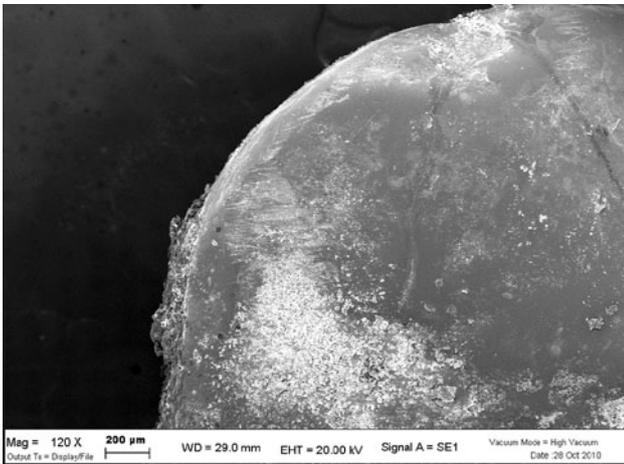
First, we analyzed the interoperator error based on Dahlberg's measurement method. For data analysis, the study was divided into two parts: in the first, the values recorded at the time of first use (use 1) were considered, while the second part considered the values documented at the strip's tenth utilization.

The experimental plan was determined combining the levels of the variables graininess (15- and 25- $\mu\text{m}$  grain) and distance

zielt mit unterschiedlich gekörnten und abgenutzten Schleiffeilen (Abbildung 2). Die behandelten Zähne wurden dann in Längsrichtung halbiert, mesial wie distal goldplattiert und bei zunehmender Vergrößerung (30, 60, 100  $\mu\text{m}$ ) unter dem Rasterelektronenmikroskop begutachtet (Abbildung 3). Zwei Untersucher evaluieren und dokumentieren die Qualität und Ebenmäßigkeit der Schmelzoberflächen im Bereich des Reduktionsareals vor und nach dem Substanzabtrag. Diese Ergebnisse wurden zu beiden Zeitpunkten mit dem unbehandelten Kontrollareal verglichen. Unser Interesse galt allen Transluzenz- und Farbschwankungen sowie Unebenheiten.

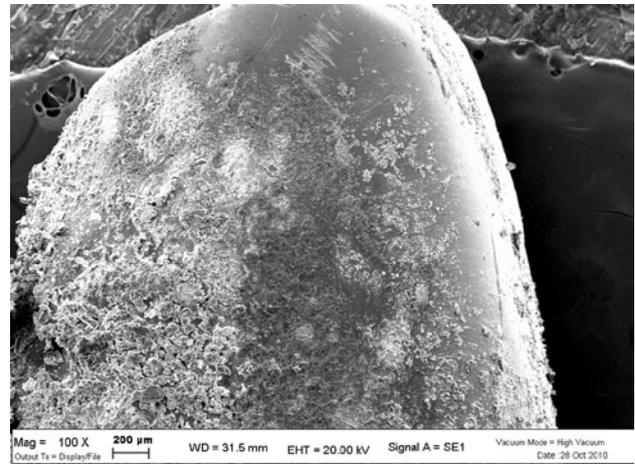
Die Proben wurden eingeteilt wie folgt:

- *Probengruppe 1:* Mit einer gelben 15- $\mu\text{m}$ -Feile, befestigt an einem Mikromotor-Handstück, wurde 15 s lang im Interdentalbereich von der Mesialfläche des ersten oberen rechten Prämolaren (Zahn 15) im Modellmund 1 Schmelz abgetragen. Anschließend erfolgte in analoger Weise die Behandlung der distalen Seite desselben Zahns mit derselben Feile, nachdem diese insgesamt 9-mal an anderen Zähnen angewendet worden war, sodass es sich hier um die 10. Anwendung handelte. Danach wiederholte sich das Procedere mit einer weißen 25- $\mu\text{m}$ -Feile an Zahn 14. Es folgte ein ähnlicher Test mit 15- bzw. 25- $\mu\text{m}$ -Feilen an den Eckzähnen (13 und 23) und Schneidezähnen (11 und 12). Diese letzteren Tests des Reduktionsvermögens einzelner Feilen auf eine vorab festgelegte Schmelztiefe umfassten einen geeigneten Platzhalter, um den Einfluss der Interdentalkontakte zu beseitigen (Abbildung 4, Abbildung 5).
- *Probengruppe 2:* Dasselbe Procedere – einschließlich der Anwendung des Platzhalters – wiederholte sich an den Distalflächen der oben genannten Zähne im Modellmund 2. Allerdings wurden diesmal die behandelten Schmelzflächen nach dem interdentalen Substanzabtrag mit einem Polierinstrument (Körnung: 15  $\mu\text{m}$ ) finiert (Abbildung 6, Abbildung 7).
- *Probengruppe 3:* Im Oberkiefer des Modellmundes 3 wurde der Zeitaufwand für Schmelzreduktionen um 0,10, 0,20 und 0,30 mm mit einer zuvor unbenutzten gelben 15- $\mu\text{m}$ -Orthofile zwischen Zahn 11 und 21 ermittelt. Die Messung des Schmelzabtrags erfolgte mit einem geeigneten Messinstru-



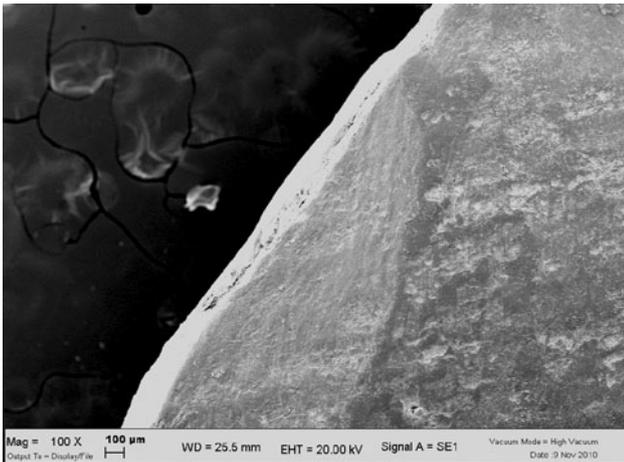
**Figure 4.** Distal side of tooth 1.1—first use of 15-µm-grain yellow strip.

**Abbildung 4.** Distalfläche von Zahn 11 – erstmalige Anwendung einer gelben 15-µm-Feile



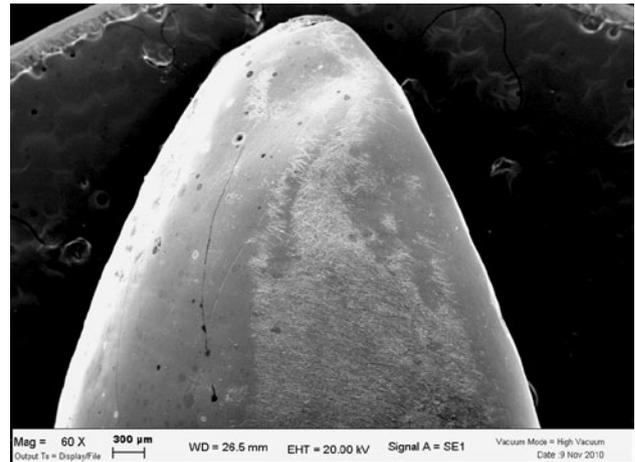
**Figure 5.** Distal side of tooth 1.2—first use of 25-µm-grain white strip

**Abbildung 5.** Distalfläche von Zahn 12 – erstmalige Anwendung einer weißen 25-µm-Feile



**Figure 6.** Distal side of tooth 1.1—use of 15-µm-grain strip followed by polishing

**Abbildung 6.** Distalfläche von Zahn 11 – Anwendung einer gelben 15-µm-Feile mit nachfolgender Politur



**Figure 7.** Distal side of tooth 1.2—use of 25-µm-white grain strip followed by polishing

**Abbildung 7.** Distalfläche von Zahn 12 – Anwendung einer weißen 25-µm-Feile mit nachfolgender Politur

(0.1, 0.2, and 0.3 mm). A two-way analysis of variance (ANOVA) was applied to identify significant experimental conditions, verifying in advance the validity of all the assumptions required by ANOVA (normal distribution of timing groups, homogeneous variations in time, independence between sample means and sample standard deviations in the times).

If ANOVA F-tests were found to be significant, the Bonferroni post hoc test was applied to identify statistically significant differences between pairs of means.

## Results

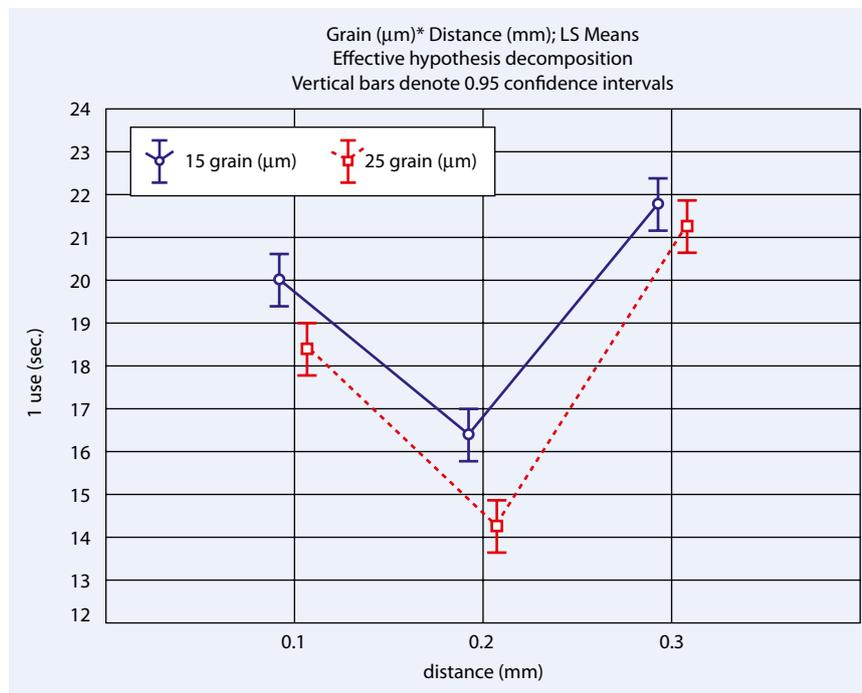
The results from each experimental protocol are discussed below:

ment. Der gleiche Test wurde an den Zähnen 11 und 12 mit einer zuvor unbenutzten weißen 15-µm-Feile durchgeführt.

– *Probengruppe 4:* Das Versuchsprotokoll für die Probengruppen 3 wurde im Oberkiefer des Modellmundes 4 wiederholt, diesmal jedoch mit einer gelben 15-µm-Feile bzw. einer weißen 25-µm-Feile, die insgesamt bereits 9-mal zwischen Zahn 11 und 21 bzw. zwischen Zahn 11 und 12 angewendet worden war.

## Statistik

Zunächst analysierten wir anhand der Messmethode nach Dahlberg den interindividuellen Untersucherfehler. Die Studie wurde zwecks Auswertung der Daten in 2 Abschnitte unterteilt: Im ersten Abschnitt wurden die Messwerte der 1., in der 2. die Messwerte der 10. Feilanwendungen berücksichtigt.



**Figure 8.** Relation between grain and distance at the first use of yellow and white strips

**Abbildung 8.** Verhältnis zwischen Körnung und Reduktionstiefe zum Zeitpunkt der ersten Anwendung der gelben und weißen Feilen

- From a qualitative point of view, the 15-µm-grain yellow strip used in *Sample 1*, due to its finer grain, was obviously less abrasive than the 25-µm-grain white strip, irrespective of the tooth it was tested on (incisor, canine, or premolar). Furthermore, at its tenth use, the 25-µm-grain white strip was still more abrasive, (although less so than at its first use), than the 15-µm-grain yellow strip at its tenth use.
- The finishing strip used in *Sample 2* guaranteed a smoother, more regular surface of previously-abraded enamel with the 15-µm grain yellow and 25-µm grain white strips.
- As regards *Samples 3* and *4*, at each repeated measurement, the proportion of error associated with the value obtained was greater than the  $\alpha$  value (0.05). This is, therefore, a statistically insignificant measurement error (random and/or systematic)

The two-way ANOVA identified a statistically significant difference for all variables. As regards sample 3, a significant difference in graininess was found ( $F(1,84) = 32.54, p < 0.001$ ), distance ( $F(2,84) = 210.37, p < 0.001$ ), and in the interaction between two factors ( $F(2,84) = 3.56, p < 0.05$ ). Similarly, in sample 4 a significant difference in graininess was observed ( $F(1,84) = 531.28, p < 0.001$ ), distance ( $F(2,84) = 904.31, p < 0.001$ ), and in the interaction effect ( $F(2,84) = 109.5, p < 0.001$ ). The Bonferroni post hoc test shows that, on first use, all six means differed significantly and the experiments are presented arranged from the fastest to that which took the longest (Figure 8).

- The average time documented at grain 25 for distances 0.10 and 0.20 mm was significantly lower ( $p = 0.006$  and  $p < 0.001$ ) than that documented at grain 15 for distances of 0.10 and 0.20 mm.

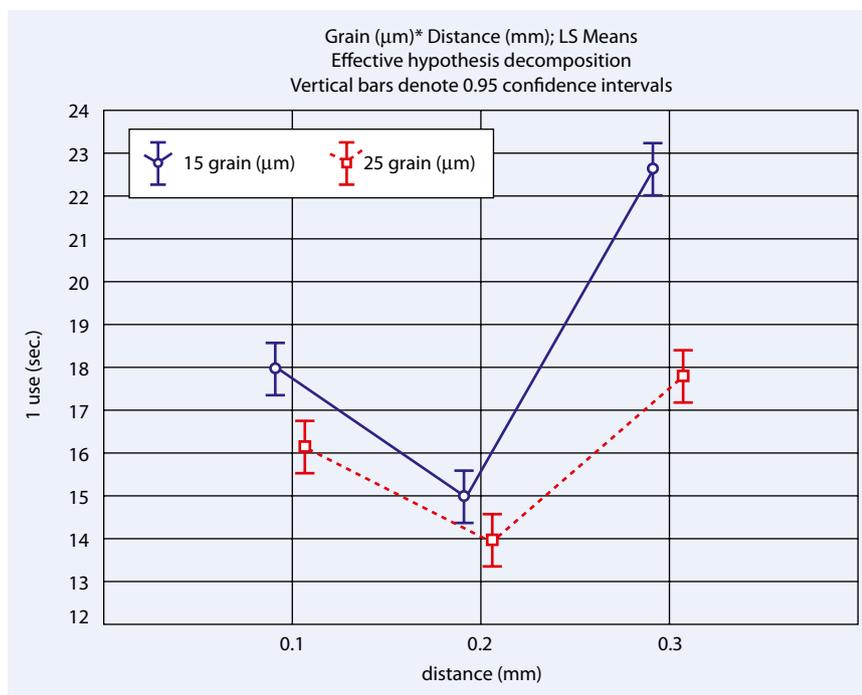
Die experimentelle Planung war bestimmt von der Kombination aller möglicher Größen der Variablen Reduktionstiefe (0,1, 0,2 und 0,3 mm) und Körnung (15 und 25 µm). und dem kürzesten durchschnittlichen Zeitintervall führten wir eine Zweifaktoriellen Varianzanalyse durch. Vor Anwendung dieser Technik verifizierten wir, dass die erforderlichen Voraussetzungen (Normalverteilung, homogene Variationen, Unabhängigkeit zwischen den Mittelwerten und Standardabweichungen der Probengruppen) erfüllt waren.

Gab es in den ANOVA-F(Fisher)-Tests signifikante Resultate, wurden mit dem Post-hoc-Test nach Bonferroni statistisch signifikante Unterschiede zwischen je 2 Experimenten ermittelt.

## Resultate

Die Ergebnisse aus jedem experimentellen Protokoll werden im Folgenden diskutiert.

- Unabhängig vom getesteten Zahntyp (Schneidezahn, Eckzahn oder Prämolare) war aus qualitativer Sicht die Wirkung der gelben 15-µm-Feile aufgrund ihrer feineren Körnung in *Probengruppe 1* naturgemäß weniger abrasiv als jene der weißen 25-µm-Feile. Zum Zeitpunkt der 10. Anwendung war die weiße 25-µm-Feile immer noch abrasiver als die gelbe 15-µm-Feile, wenn auch der Unterschied nicht mehr so groß war wie bei der ersten Anwendung.
- Die in *Probengruppe 2* verwendete Polierfeile gewährleistete eine glattere, ebenmäßigere Schmelzoberfläche nach Anwendung der gelben (15 µm) und weißen (25 µm) Schleiffeilen.
- Was die *Stichproben 3 und 4* betrifft, so lag der Fehleranteil am Messwert über dem  $\alpha$ -Wert von 0,05. Somit war dieser



**Figure 9.** Relation between grain and distance at the tenth use of yellow and white strips

**Abbildung 9.** Verhältnis zwischen Körnung und Reduktionstiefe zum Zeitpunkt der 10. Anwendung der gelben und weißen Feilen

– The average time documented at grain 15 for a distance of 0.10 mm (20 s) differed significantly from that documented at grain 15 for a distance of 0.20 mm (16.4 s).

At the tenth utilization, the Bonferroni test shows that all the media were significantly different from each other except for the comparison between the average times documented at grain 15 for a distance of 0.10 mm (33.87 s.) and at grain 25 for a distance of 0.30 mm (33.53 s) (Figure 9).

The average time documented at grain 25 for a distance of 0.30 mm (33.53 s) is significantly lower than that documented at grain 15 for a distance of 0.30 mm (43.2 s, Table 1).

## Discussion

Several working groups have demonstrated that mechanical stripping can reduce chairside time [5, 21], achieving more and better interproximal reduction than manual techniques. Therefore, the aim of this work was to evaluate the efficacy of mechanical stripping for interproximal reduction. Chemical and combined chemical/mechanical (37% orthophosphoric acid) methods of stripping were not considered, as previous studies reported unsatisfactory results [17, 25, 26]. There is no clear correlation between tooth type and enamel thickness [12, 13], and thus, in contrast to previous studies, we analyzed the morphology of various tooth types after interproximal reduction.

As reported in the literature, regardless of the method used, the enamel is weakened [3, 16, 23, 24]. This has been attributed in part to the removal of the outermost fluorapatite-rich enamel layer. Consequently, the application of topical fluoride products

Messfehler im Sinne eines Zufallsfehlers und/oder systematischen Fehlers nicht signifikant.

Die Zweifweg-Varianzanalyse (ANOVA) ergab eine statistisch signifikante Differenz für alle Variablen. Im Hinblick auf Probengruppe 3 wurden signifikante Unterschiede gefunden in Körnung ( $F(1,84)=32,54$ ,  $p<0,001$ ), Reduktionstiefe ( $F(2,84)=210,37$ ,  $p<0,001$ ) und in der Interaktion dieser Faktoren ( $F(2,84)=3,56$ ,  $p<0,05$ ). Ähnliches wurde beobachtet in Probengruppe 4: ein signifikanter Unterschied in der Körnung ( $F(1,84)=531,28$ ,  $p<0,001$ ), in der Reduktionstiefe ( $F(2,84)=90431$ ,  $p<0,001$ ) und im Interaktionseffekt ( $F(2,84)=109,5$ ,  $p<0,001$ ). Die Post-hoc-Analyse nach Bonferroni zeigt, dass sich alle 6 Mittelwerte signifikant voneinander unterscheiden. Die Experimente sind vorgestellt in Abbildung 8, sortiert nach ihrer Dauer.

- Der durchschnittliche Zeitaufwand für die Schmelzreduktionen um 0,10 und 0,20 mm war mit der weißen 25- $\mu\text{m}$ -Feile jeweils signifikant geringer als mit der gelben 15- $\mu\text{m}$ -Feile ( $p=0,006$  bzw.  $<0,001$ ).
- Ferner unterschied sich mit der gelben 15- $\mu\text{m}$ -Feile durchschnittlich erforderliche Zeitaufwand für die Schmelzreduktionen um 0,10 mm (20 s) signifikant von dem für die Schmelzreduktionen um 0,20 mm (16,4 s).

Für die 10. Anwendung der Feilen erbrachte der Bonferroni-Test signifikante Unterschiede zwischen allen 6 Experimenten. Eine Ausnahme bildete der Vergleich zwischen dem durchschnittlichen Zeitaufwand für die Schmelzreduktionen um 0,10 mm mit der 15- $\mu\text{m}$ -Feile (33,87 s) und dem für die

**Table 1.** Two-way tables of descriptive statistics (n=90; no missing data in dependent variable)**Tabelle 1.** Zweiweg-Tabellen, deskriptive Statistik (n=90)

Strip grain ( $\mu\text{m}$ )	Distance (mm)	Grain ( $\mu\text{m}$ ) $\times$ distance (mm)			1 use (s)			
		1st use (s)	Confidence		n	SD	Min	Max
		Means	-95%	95%				
15	0.1	20	19.37	20.67	15	1.13	18	22
	0.2	16.4	15.59	17.2	15	1.45	13	19
	0.3	21.8	21.27	22.32	15	0.94	21	13
25	0.1	18.4	17.71	19.08	15	1.24	17	21
	0.2	14.26	13.69	14.83	15	1.03	13	16
	0.3	21.26	20.58	21.94	15	1.22	20	24
Strip grain ( $\mu\text{m}$ )	Distance (mm)	10th use (s)			10 use (s)			
		Means	-95%	95%	n	SD	Min	Max
15	0.1	33.86	33.2	34.52	15	1.18	31	35
	0.2	27.86	27.27	28.45	15	1.06	25	29
	0.3	43.2	42.72	43.67	15	0.86	42	45
25	0.1	30.26	29.55	30.97	15	1.27	28	33
	0.2	25.8	25.32	26.27	15	0.86	25	27
	0.3	33.53	32.98	34.08	15	0.99	32	35

SD standard deviation, Min minimum, Max maximum.

or a sealant after enamel reduction has been advocated [13, 17, 20]. We did not take that approach because recent findings seem to imply that such measures might be unnecessary.

The most important aspect of fluoride's cariostatic mechanism is its effect on demineralization and remineralization in biofilm, and not a high content of fluoride in the apatite structures. The most important step, in fact, to prevent adverse IPR effects is to polish the surfaces after interproximal reduction [3, 7, 26, 30].

The results of this study show that, irrespective of the type of tooth, air-rotor abrasive, specific-for-stripping strips are effective and do not damage the enamel layer. As expected, the coarser-grained strips are more abrasive. However, some samples were ultimately more abraded than others, even after the same number of applications, which indicates that one important factor determining the final amount interproximal reduction is the operator's influence (pressure exerted) and differences in tooth surface (presence of tartar, enamel abrasion, or plaque). Both grades of abrasive strip, at both the first and tenth uses, created an irregular tooth surface with varying numbers of deep scratches. It was therefore the finishing stage with the specific strips that was fundamental to limiting damage to the enamel surface. However, the polishing quality achieved was affected by the grade of the strip used for interproximal reduction, that is, after IPR. Using a 10- $\mu\text{m}$ -grain white finishing strip, only irregularities on the tooth surface were removed, while after using the 15- $\mu\text{m}$ -grain yellow finishing strip, the teeth were left smooth and polished. The operator-dependent variable seemed to have

Schmelzreduktionen um 0,30 mm mit der 25- $\mu\text{m}$ -Feile (33,53 s; Abbildung 9).

Beim durchschnittlichen Zeitaufwand für die Schmelzreduktionen um 0,30 mm zeigte sich ein signifikanter Unterschied: 33,53 s mit der 25- $\mu\text{m}$ -Feile und 43,2 s mit der 15- $\mu\text{m}$ -Feile (Tab. 1).

## Diskussion

Nachdem mehrere Arbeitsgruppen gezeigt hatten, dass mechanisches Beschleifen den Zeitaufwand am Behandlungsstuhl reduziert [5, 21] und größere Substanzabträge als manuelle Techniken ermöglichen, beschlossen wir, die Effizienz der mechanischen Schleiftechnik für interdental-approximale Substanzabträge zu analysieren. Chemische und chemisch-mechanische (37% Orthophosphorsäure) Reduktionsmethoden wurden nicht berücksichtigt, da frühere Studien dazu unbefriedigende Ergebnisse erbracht hatten [17, 25, 26]. Da zwischen verschiedenen Zahntypen und deren Schmelzstärke kein eindeutiger Zusammenhang besteht [12, 13], analysierten wir, anders als Autoren früherer Studien, die Morphologie mehrerer Zahntypen nach der Schmelzreduktion.

Wie in der Literatur beschrieben, kommt es unabhängig von der Reduktionsmethode nachweislich zu einer Schwächung des Zahnschmelzes [3, 16, 23, 24]. Dies wurde unter anderem dem Verlust der äußersten Schmelzschicht mit ihrem hohen Gehalt an Fluorapatit zugeschrieben. Folglich gibt es Proponenten einer lokalen Applikation von Fluoridprodukten oder eines

a strong influence on clinical application because to polish the entire surface, all of the previously-abraded areas must be completed using the finishing strips—a delicate task to do in vivo. As regards chairside time, it took more time to achieve 0.10, 0.20, and 0.30 mm of stripping using the 15- $\mu$ m-grain yellow strip on first use than with the unused 25- $\mu$ m-grain white strip, obviously due to the former's finer grain. Both strips took relatively longer to abrade the first 0.10 mm of enamel, as the tooth's surface and contact points were intact and thus more resistant to the abrasive force. Fewer seconds were required to achieve 0.20 mm of IPR, while the time taken to abrade to a depth of 0.30 mm was relatively longer due to the wear on the strip and fact that, at that point, the strip only came into contact with one side of the tooth, as the interproximal distance had increased. At their tenth use, both strips took longer than the time needed by the same strips at their first application to achieve 0.10/0.20/0.30 mm of enamel reduction. Both strips at their tenth use exhibited the same behavior as at their first use: the quickest strip was consistently the white one (Table 1).

Our results, despite having simulated the biological conditions and points of contact, are obviously hampered by the limitations associated with an in vitro study on extracted teeth.

## Conclusion

The results of this study, in which, for the first time, a stripping protocol was applied to several different types of teeth, enabled us to draw the following conclusions:

- Because of its coarser grain, the 25- $\mu$ m-grain white strip (even at its tenth use) was more effective than the 15- $\mu$ m-grain yellow strip, irrespective of the tooth involved.
- After interproximal reduction, the finishing phase using a 15- $\mu$ m-grain finishing strip played a key role in reducing the number of abrasions and irregularities created by stripping. To achieve the best result, the entire abraded area must be polished.
- This system enables a rapid and effective stripping procedure because it can be re-utilized. Further research will compare this system's efficacy with that of similar procedures.

From a clinical point of view, the orthodontist should use a specific IPR system mounted on a handpiece with 25- $\mu$ m-grain strip, followed by a polishing phase. The strips can generally be used for 10 applications, and chairtime is shortened and can be more efficiently planned.

## Compliance with ethical guidelines

**Conflict of interest.** L. Lombardo, M.P. Guarneri, P. D'Amico, C. Molinari, V. Meddis, A. Carlucci, and G. Siciliani state that there are no conflicts of interest.

The accompanying manuscript does not include studies on humans or animals.

Versiegler nach Schmelzreduktion [13, 17, 20]. Wir verzichten auf solche Maßnahmen, zumal neuere Befunde zu implizieren scheinen, dass sie überflüssig sein könnten.

Der wichtigste Aspekt des kariostatischen Effekts von Fluorid ist nicht der hohe Fluoridgehalt in den Apatitstrukturen, sondern seine Wirkung auf die De- und Remineralisierung im Biofilm. De facto ist der wichtigste Schritt zur Prävention negativer Folgen von interdentalen Schmelzreduktionen die abschließende Oberflächenpolitur [3, 7, 26, 30].

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass definierte Substanzabträge mit turbinengetriebenen Schleiffeilen wirksam realisierbar sind und den Schmelzmantel nicht beschädigen. Wie zu erwarten war, erwies sich der grobkörnigere Feilentyp als stärker abrasiv. Allerdings waren selbst nach gleich vielen Feilenanwendungen manche Proben letztlich stärker beschliffen als andere, was darauf hindeutet, dass die endgültige Tiefe des interdentalen Substanzabtrags auch erheblich vom durchführenden Behandler mit seinem individuellen Druckverhalten sowie vom Zustand der Zahnoberfläche (Konkremente, Schmelzabrieb, Plaque) abhängt. Die beiden Körnungsgrade der verwendeten Schleiffeilen erzeugten sowohl bei der ersten als auch bei der 10. Anwendung unebene Zahnoberflächen mit einer mehr oder weniger großen Zahl an tiefen Kratzern. Folglich kam dem Finieren mit eigenen Feilen eine wesentliche Bedeutung für die Schadensbegrenzung an der Schmelzoberfläche zu. Allerdings war die Polierqualität, die erzielt werden konnte, abhängig vom Körnungsgrad der zuvor verwendeten Schleiffeilen. Mit der weißen 10- $\mu$ m-Polierfeile konnten lediglich Unregelmäßigkeiten an der Zahnoberfläche entfernt werden, während die gelbe 15- $\mu$ m-Polierfeile den Zähnen eine glattpolierte Struktur verlieh. Die klinische Anwendung erscheint sehr behandlerabhängig zu sein, zumal für eine Gesamtpolitur alle zuvor beschliffenen Areale vollständig mit den Polierfeilen bearbeitet werden müssen, was in vivo viel Fingerspitzengefühl erfordert. Der Zeitaufwand am Behandlungsstuhl für die Schmelzreduktionen um 0,10, 0,20 oder 0,30 mm war mit den zuvor unbenutzten gelben 15- $\mu$ m-Feilen höher als mit den zuvor unbenutzten weißen 25- $\mu$ m-Feilen. Der Grund hierfür lag offensichtlich in der feineren Körnung. Relativ gesehen benötigten beide Feilen für die ersten 0,10 mm des Schmelzmantels länger, da die Zahnoberflächen und die Kontaktpunkte in diesem Zustand noch intakt waren und den Schleifkräften größeren Widerstand boten. Die Substanzabträge auf 0,20 mm nahmen weniger Sekunden in Anspruch. Höher lag dann wieder der relative Zeitaufwand zum Befehlen auf 0,30 mm Tiefe, zumal die Feile sich hierbei stärker abnutzte und durch den wachsenden interdentalen Abstand schließlich nur noch mit einer Zahnseite in Kontakt war. Zum Zeitpunkt ihrer 10. Anwendung benötigten beide Feilen mehr Zeit für die Schmelzreduktionen um 0,10, 0,20 und 0,30 mm als im zuvor unbenutzten Zustand. Unverändert blieb, dass die weiße Feile auch bei der 10. Anwendung durchgängig rascher zum Ziel führte (Abbildung 9).

Trotz der Simulation biologischer Verhältnisse und Kontaktpunkte unterliegen die hier vorgestellten Resultate naturgemäß

## References

1. Aasen TO, Espeland L (2005) An approach to maintain orthodontic alignment of lower incisors without the use of retainers. *Eur J Orthod* 27:209–214
2. Arends J, Christoffersen J (1986) The nature of early carious lesions in enamel. *J Dent Res* 65:2–11
3. Arman A et al (2006) Qualitative and quantitative evaluation of enamel after various stripping methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130:131.e7–14
4. Boyd RL (2008) Esthetic orthodontic treatment using the Invisalign appliance for moderate to complex malocclusions. *J Dent Educ* 72:948–967
5. Chudasama D, Sheridan JJ (2007) Guidelines for contemporary air-rotor stripping. *J Clin Orthod* 41:315–320
6. Crain G, Sheridan JJ (1990) Susceptibility to caries and periodontal disease after posterior air-rotor stripping. *J Clin Orthod* 24:84–85
7. Danesh G et al (2007) Enamel surfaces following interproximal reduction with different methods. *Angle Orthod* 77:1004–1010
8. Harfin JF de (2000) Interproximal stripping for the treatment of adult crowding. *J Clin Orthod* 34:424–433
9. Fillion D (1993) Apport de la sculpture amélaire interproximale à l'orthodontie de l'adulte (troisième partie). *Rev Orthop Dento Faciale* 27:353–367
10. Grippaudo C et al (2010) Comparison between different interdental stripping methods and evaluation of abrasive strips: SEM analysis. *Prog Orthod* 11:127–137
11. Hall NE et al (2007) Predictors of variation in mandibular incisor enamel thickness. *J Am Dent Assoc* 138:809–815
12. Jarjoura K, Gagnon G, Nieberg L (2006) Caries risk after interproximal enamel reduction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130:26–30
13. Joseph VP, Rossouw PE, Basson NJ (1992) Orthodontic microabrasive reproximation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 102:351–359
14. Kravitz ND et al (2008) Influence of attachments and interproximal reduction on the accuracy of canine rotation with Invisalign. A prospective clinical study. *Angle Orthod* 78:682–687
15. Ogaard B et al (1988) Orthodontic appliances and enamel demineralization, part I. Lesion development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 94:68–73
16. Radlanski RJ et al (1988) Plaque accumulations caused by interdental stripping. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 94:416–420
17. Rossouw PE, Tortorella A (2003) A pilot investigation of enamel reduction procedures. *J Can Dent Assoc* 69:384–388
18. Rossouw PE, Tortorella A (2003) Enamel reduction procedures in orthodontic treatment. *J Can Dent Assoc* 69:378–383
19. Sheridan JJ (1985) Air rotor stripping. *J Clin Orthod* 19:43–59
20. Sheridan JJ, Ledoux PM (1989) Air-rotor stripping and proximal sealants. An SEM evaluation. *J Clin Orthod* 23:790–794
21. Sheridan JJ (2008) On air-rotor stripping. *J Clin Orthod* 42:381–388
22. Stroud JL, Englisch J, Buschang PH (1998) Enamel thickness of the posterior dentition: its implications for nonextraction treatment. *Angle Orthod* 68:141–146
23. Twesme DA et al (1994) Air rotor stripping and enamel demineralization in vitro. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 105:142–152
24. Tuverson DL (1980) Anterior interocclusion relations. Part I. *Am J Orthod* 78:361–370
25. Zachrisson BU (2010) Stripping. In: Rakosi T, Graber TM (eds) *Orthodontic and dentofacial orthopedic treatment*. Thieme, Stuttgart, pp 289–312
26. Zachrisson BU et al (2011) Dental health assessed after interproximal enamel reduction: caries risk in posterior teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139:90–98
27. Zachrisson BU, Mjor IA (1975) Remodeling of teeth by grinding. *Am J Orthod* 68:545–553
28. Zachrisson BU, Nyøygard L, Mobarak K (2007) Dental health assessed more than 10 years after interproximal enamel reduction of mandibular anterior teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:162–169
29. Zhong M et al (2000) Clinical evaluation of a new technique for interdental enamel reduction. *J Orofac Orthop* 61:432–439
30. Zhong M et al (1999) SEM evaluation of a new technique for interdental stripping. *J Clin Orthod* 33:286–292

den Einschränkungen, die mit einer In-vitro-Untersuchung an extrahierten Zähnen verbunden sind.

## Schlussfolgerung

Die Resultate dieser Studie, in der erstmals ein Feilprotokoll an verschiedenen Zahntypen verwendet wurde, ermöglichten die folgenden Schlussfolgerungen:

- Unabhängig von Zahntyp waren die weißen 25- $\mu$ m-Feilen aufgrund der größeren Körnung effektiver als die gelben 15- $\mu$ m-Feilen, auch noch zum Zeitpunkt der 10. Anwendung.
- Abschließendes Finieren mit einem 15- $\mu$ m-Polierinstrumente spielte eine zentrale Rolle bei der Reduzierung abgeriebener und unebener Stellen nach der interdental-approximalen Schmelzreduktion. Optimale Ergebnisse lassen sich nur erzielen, wenn das gesamte beschliffene Areal abschließend einer Politur unterzogen wird.
- Das untersuchte System ermöglicht durch seine Wiederverwendbarkeit rasche und wirksame Schmelzreduktionen. Zur Gegenüberstellung seiner Wirksamkeit mit ähnlichen Systemen werden weitere Studien folgen.

Vom klinischen Standpunkt aus gesehen sollte der Kieferorthopäde ein eigens für Substanzabträge in Zahnzwischenräumen konzipiertes System verwenden, eine Schleiffeile mit 25- $\mu$ m-Körnung auf einem Handstück mit nachfolgender Politur. Im Allgemeinen lassen sich die Feilen 10-mal verwenden, der Zeitaufwand am Behandlungsstuhl ist geringer und kann effizienter geplant werden.

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** L. Lombardo, M.P. Guarneri, P. D'Amico, C. Molinari, V. Meddis, A. Carlucci und G. Siciliani geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

## Correspondence address

Lombardo Luca  
 Contrada Nicolizia  
 92100 Licata (AG), Italy  
 lulombardo@tiscali.it